

# SPIS TREŚCI

1.	SPAWALNICZE PROCESY CIEPLNE	9
1.1.	Rodzaje i właściwości spawalniczych źródeł ciepła	9
1.2.	Spawalniczy łuk elektryczny	9
1.3.	Źródła prądu do spawania łukowego	14
1.4.	Przepływ ciepła w materiale spawanym	15
1.4.1.	Modele ciał i źródeł ciepła	15
1.4.2.	Cykle cieplne spawania	17
1.4.3.	Charakterystyczne wielkości cyklu cieplnego spawania	18
2.	CHARAKTERYSTYKA PROCESÓW SPAWANIA	22
2.1.	Ogólny podział procesów spawalniczych	22
2.2.	Charakterystyka i podział metod spawania	23
2.3.	Pozycje spawania	25
2.4.	Spawanie gazowe	27
2.5.	Spawanie acetylenowo-tlenowe	27
2.6.	Spawanie łukowe elektrodami otulonymi	29
2.7.	Spawanie łukiem krytym (pod topnikiem)	31
2.8.	Spawanie łukowe elektrodą wolframową w osłonie gazowej (TIG)	35
2.9.	Spawanie łukowe elektrodą topliwą w osłonie gazowej (MAG i MIG)	37
2.10.	Spawanie łukowe drutem z rdzeniem proszkowym	42
2.11.	Spawanie elektrogazowe	42
2.12.	Spawanie elektrożuźłowe	43
2.13.	Spawanie plazmowe	45
2.14.	Spawanie wiązką elektronów	47
2.15.	Spawanie laserowe	49
3.	MATERIAŁY DODATKOWE DO SPAWANIA	52
3.1.	Spoiva do spawania i napawania	52
3.1.1.	Elektrody otulone	53

3.1.2.	Druty elektrodowe lite ciągłe.....	56
3.1.3.	Druty elektrodowe z rdzeniem proszkowym.....	57
3.1.4.	Druty i pręty do spawania i napawania.....	58
3.2.	Topniki do spawania.....	58
3.3.	Spawalnicze gazy osłonowe.....	59
3.4.	Klasyfikacja gazów osłonowych do łukowego spawania i cięcia.....	63
3.5.	Spawalnicze gazy palne.....	64
<b>4.</b>	<b>METALURGIA PROCESÓW SPAWALNICZYCH.....</b>	<b>68</b>
4.1.	Dysocjacja gazów.....	68
4.2.	Utlenianie metali podczas spawania.....	69
4.3.	Odtlenianie (redukcja tlenków).....	70
4.4.	Rola azotu w procesie spawania.....	72
4.5.	Rola wodoru w procesie spawania.....	72
4.6.	Rola żużli w procesie spawania.....	74
4.7.	Odsiarczanie stopiwa.....	75
4.8.	Odfosforowanie stopiwa.....	75
4.9.	Wprowadzanie składników stopowych do stopiwa.....	76
<b>5.</b>	<b>STRUKTURA ZŁĄCZY SPAWANYCH I ICH WŁAŚCIWOŚCI TECHNOLOGICZNE.....</b>	<b>77</b>
5.1.	Krystalizacja spoiny.....	77
5.2.	Mikrostruktura i właściwości złącza spawanego.....	78
5.2.1.	Materiał rodzimy.....	78
5.2.2.	Strefa wpływu ciepła.....	78
5.2.3.	Spoina.....	82
5.3.	Starzenie złączy spawanych.....	83
5.4.	Pękanie złączy spawanych.....	83
5.4.1.	Pękanie gorące (krystalizacyjne) spoin.....	84
5.4.2.	Pękanie zimne (wodorowe).....	86
5.4.3.	Pękanie wyżarzeniowe.....	89
5.4.4.	Pękanie rozwarstwieniowe (lamelarne).....	90
5.5.	Zabiegi cieplne przy spawaniu.....	91
<b>6.</b>	<b>POŁĄCZENIA SPAWANE I ICH WŁAŚCIWOŚCI.....</b>	<b>96</b>
6.1.	Charakterystyka (konstrukcyjna) złączy i spoin.....	96
6.2.	Naprężenia spawalnicze.....	102
6.2.1.	Mechanizm powstawania cieplnych naprężeń własnych.....	102
6.2.2.	Typowe rozkłady naprężeń spawalniczych.....	105
6.2.3.	Wpływ naprężeń spawalniczych na eksploatację konstrukcji.....	106
6.2.4.	Odpężanie konstrukcji spawanych.....	108
6.3.	Odształcenia spawalnicze.....	110
6.4.	Właściwości eksploatacyjne połączeń spawanych.....	113
6.4.1.	Pękanie kruche.....	113
6.4.2.	Wytrzymałość statyczna połączeń spawanych.....	116
6.4.3.	Pękanie zmęczeniowe i wytrzymałość zmęczeniowa połączeń spawanych.....	116
6.4.4.	Korozja złączy spawanych.....	119

<b>7.</b>	<b>SPAVALNOŚĆ I TECHNOLOGIA SPAWANIA METALI I STOPÓW</b>	<b>123</b>
7.1.	Spawalność metali i stopów	123
7.2.	Wpływ pierwiastków na spawalność stali	124
7.3.	Sposoby oceny spawalności stali	128
7.4.	Spawanie stali niestopowych (niskowęglowych)	130
7.5.	Spawanie stali konstrukcyjnych węglowo-manganowych	131
7.6.	Spawanie stali drobnoziarnistych	131
7.7.	Spawanie stali stosowanych na części maszyn	133
7.8.	Spawanie stali niskostopowych do pracy w niskich temperaturach	134
7.9.	Spawanie stali do pracy w podwyższonych temperaturach	135
7.10.	Spawanie stali trudno rdzewiejących	137
7.11.	Spawalność i spawanie wysokostopowych stali nierdzewnych	138
7.11.1.	Struktura i właściwości stali nierdzewnych	138
7.11.2.	Spawanie chromowych stali ferrytycznych	143
7.11.3.	Spawanie stali chromowych martenzytycznych	144
7.11.4.	Spawanie stali chromowo-niklowych austenitycznych	145
7.11.5.	Spawanie stali chromowo-niklowych z miękkim martenzytem	146
7.11.6.	Spawanie stali austenityczno-ferrytycznych (duplex)	146
7.12.	Spawanie żeliwa	147
7.13.	Spawanie aluminium i jego stopów	149
7.14.	Spawanie magnezu i jego stopów	149
7.15.	Spawanie miedzi i jej stopów	150
7.16.	Spawanie niklu i jego stopów	151
7.17.	Spawanie tytanu i jego stopów	152
<b>8.</b>	<b>PROCESY ZGRZEWANIA</b>	<b>154</b>
8.1.	Charakterystyka i klasyfikacja procesów zgrzewania	154
8.2.	Zgrzewanie rezystancyjne - zasady ogólne	155
8.3.	Zgrzewanie rezystancyjne doczołowe	157
8.3.1.	Zgrzewanie rezystancyjne zwarciowe	157
8.3.2.	Zgrzewanie rezystancyjne iskrowe	158
8.4.	Zgrzewanie rezystancyjne punktowe	161
8.5.	Zgrzewanie rezystancyjne garbowe	165
8.6.	Zgrzewanie rezystancyjne liniowe	166
8.7.	Zgrzewanie łukiem wirującym	168
8.8.	Zgrzewanie rezystancyjne prądem wielkiej częstotliwości	169
8.9.	Zgrzewanie ultradźwiękowe	170
8.10.	Zgrzewanie dyfuzyjne	171
8.11.	Zgrzewanie tarciove	173
8.12.	Zgrzewanie wybuchowe	177
8.13.	Zgrzewanie zgniotowe na zimno	178
<b>9.</b>	<b>LUTOWANIE</b>	<b>180</b>
9.1.	Charakterystyka procesu	180
9.2.	Fizyczne podstawy lutowania	181
9.3.	Luty	183
9.4.	Topniki i atmosfery kontrolowane do lutowania	186
9.5.	Źródła ciepła do lutowania i metody lutowania	188

## SPIS TREŚCI

9.6.	Kształtowanie połączeń i ich właściwości.....	190
9.7.	Przygotowanie części do lutowania.....	194
9.8.	Lutowanie wybranych materiałów.....	194
<b>10.</b>	<b>SPAWALNICZE PROCESY NANOSZENIA POWŁOK.....</b>	<b>199</b>
10.1.	Charakterystyka procesów.....	199
10.2.	Materiały dodatkowe do nanoszenia powłok.....	202
10.3.	Metody napawania.....	205
10.4.	Charakterystyka natryskiwania.....	211
10.5.	Metody natryskiwania powłok.....	212
<b>11.</b>	<b>CIĘCIE TERMICZNE.....</b>	<b>217</b>
11.1.	Uwagi wstępne.....	217
11.2.	Cięcie tlenowe.....	219
11.3.	Cięcie plazmowe.....	224
11.4.	Cięcie laserowe.....	226
11.5.	Cięcie łukowe.....	228
11.6.	Cięcie strumieniem wody.....	230
<b>12.</b>	<b>KONTROLA JAKOŚCI W SPAWALNICTWIE.....</b>	<b>233</b>
12.1.	Niezdgodności spawalnicze, poziomy jakości i poziomy akceptacji.....	234
12.2.	Badania nieniszczące złączy spawanych.....	238
12.2.1.	Badania wizualne (VT).....	238
12.2.2.	Badania penetracyjne (PT).....	239
12.2.3.	Badania magnetyczno-proszkowe (MT).....	240
12.2.4.	Badania radiologiczne (RT).....	241
12.2.5.	Badania ultradźwiękowe (UT).....	245
12.2.6.	Badania szczelności (LT).....	246
12.2.7.	Badania prądami wirowymi (ET).....	248
12.3.	Badania niszczące złączy spawanych.....	249
12.3.1.	Badania mechaniczne.....	249
12.3.2.	Badania metalograficzne.....	25
	<b>LITERATURA.....</b>	<b>253</b>
	<b>WYKAZ NORM.....</b>	<b>255</b>
	<b>SKOROWIDZ.....</b>	<b>259</b>